

NN31545.0876 OTA 876

September 1975

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

KWANTITATIEVE EN KWALITATIEVE ASPECTEN
VAN HET WATERVERBRUIK IN DE INDUSTRIE

J. Drent, J. Hoeks en J. H. A. M. Steenvoorden

BIBLIOTHEEK
STARBUK

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemid-
delen dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek
nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking

ISBN 144849

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0593 4050

INHOUD

	blz.
1. INLEIDING	1
2. WATERVERBRUIK IN DE INDUSTRIE NAAR HOEVEELHEDEN	2
3. KWALITEITSEISEN TEN BEHOEVE VAN DE DRINK- WATERVOORZIENING	7
4. KWALITEITSEISEN TEN BEHOEVE VAN DE INDUSTRIE	9
4.1. Koelwater	9
4.2. Ketelvoedingswater	12
4.3. Proceswater	15
4.3.1. Chemische industrie	15
4.3.2. Metaal industrie	15
4.3.3. Papierindustrie	16
4.3.4. Textielindustrie	17
4.3.5. Voedings- en genotmiddelenindustrie	19
5. KWALITEITSEISEN TEN BEHOEVE VAN DE LANDBOUW	24
6. ONTWIKKELINGEN VAN HET WATERVERBRUIK IN DE INDUSTRIE	25
7. SLOTBESCHOUWING	28
8. LITERATUUR	30

1. INLEIDING

Het meeste water voor industriële processen wordt lokaal onttrokken en is met relatief goedkope voorbehandelingsprocessen geschikt te maken voor gebruik. Er ontstaan dan ook nauwelijks problemen zolang de kwaliteit van het beschikbare water ongeveer constant blijft. Veranderingen in die kwaliteit kunnen afwijkingen in het productieproces veroorzaken en daardoor aanleiding zijn voor nader onderzoek en maatregelen tot verbetering van de waterkwaliteit. In vele gevallen kunnen de kwaliteitseisen voor het water dan ook niet worden geformuleerd, omdat er in het productieproces van bepaalde verontreinigingen geen nadelige invloeden zijn geconstateerd. De natuurlijke kwaliteit van het lokale water wordt aanvaard en als zodanig worden de kwaliteitseisen veelal afgestemd op de plaatselijk voorkomende eigenschappen.

De te stellen eisen zijn afhankelijk van het doel waarvoor het water wordt gebruikt. Het productieproces moet ongestoord kunnen verlopen, de kwaliteit van het produkt mag niet worden beïnvloed door verontreinigingen in het water. Ook uit het oogpunt van gezondheid moeten soms bepaalde eisen worden gesteld aan de kwaliteit van het produkt.

Bij een toenemende verslechtering van de waterkwaliteit zal er meer aandacht aan de factor water binnen het bedrijf worden geschonken. Goed water wordt schaarser en dus duurder, zodat de economie van het water in de industrie een rol gaat spelen. Een bijkomende belangrijke factor is de heffing op de lozing van het afvalwater, welke de industrie ertoe dwingt de waterhuishouding in het bedrijf nauwlettend onder controle te houden. Vooral het aspect van het afvalwater heeft een kleine 'natte' revolutie in gang gezet. Het gevolg is dat er in het waterverbruik sterk uiteenlopende situaties ontstaan; dezelfde

typen fabrieken kunnen sterk uiteenlopende hoeveelheden water verbruiken.

De grote verscheidenheid van industrieën, processen en produktkwaliteiten maakt het onmogelijk om algemene normen aan te leggen voor de verschillende stoffen die in het water kunnen voorkomen. In deze nota is dan ook eerst ingegaan op een aantal kwantitatieve gegevens en vervolgens is per industrietak een overzicht gegeven van de kwaliteitseisen van het water waarbij zoveel mogelijk het effect van verschillende verontreinigende bestanddelen op de kwaliteit van het produkt is aangegeven.

2. WATERVERBRUIK IN DE INDUSTRIE NAAR HOEVEELHEDEN

Bij het verbruik van water in de industrie kan onderscheid worden gemaakt tussen de hoeveelheid water die betrokken wordt van de waterleidingbedrijven en de hoeveelheid die door de industrie zelf wordt gewonnen uit grondwater en/of oppervlaktewater. De kwantitatieve verdeling over de drie watersoorten (leidingwater, grondwater en oppervlaktewater) hangt sterk af van de kwaliteitseisen die een bepaalde industrietak stelt aan dit water, verder van de beschikbaarheid en kwaliteit van grond- en oppervlaktewater en van de doeleinden waarvoor het water wordt gebruikt.

Het waterverbruik in de industrie kan naar gebruiksdoel worden onderverdeeld in drie categorieën: - koelwater

- ketelvoedingswater

- proceswater

De hoeveelheden water die in Nederland worden verbruikt door de industrie staan weergegeven in tabel 1 (C. B.S., 1969). De vermelde cijfers hebben betrekking op 95% van het totale industriële gebruik over 1967 (en zijn verzameld door middel van een enquête onder de belangrijkste waterverbruikende industrieën).

Uit nadere analyse van het waterverbruik bij enkele industrieën blijkt dat gemiddeld ca. 5 % van het totaal bestemd is voor ketelvoedingswater. Bij de chemische industrie ligt dit percentage op ca. 1½%.

Tabel 1. Waterverbruik in industrie en landbouw (1967, resp. 1970) en procentuele verdeling over koelwater en niet-koelwater

	Totaal verbruik $10^6 \text{ m}^3/\text{jr.}$	Koelwater % tot. verbr.	Niet-koelwater % tot. verbr.
chemische industrie	1751*	91	9
metaalindustrie	203	80	20
papierindustrie	191	53	47
textielindustrie	65	38	62
voedingsmiddelenindustrie	366	68	32
overige industrieën	150	-	-
landbouw (1970)	160	-	100

* waarvan $1448 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jr}$ door de chemische industrie in Zuid-Holland

Wat een en ander betekent voor het waterverbruik van de onderscheiden categorieën is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2. Waterverbruik voor koelwater, ketelvoedingswater en proceswater in 1967 (10^6 m^3)

	Elektriciteits- centrales	Ned. industrie	Chem. ind. Z-Holland	Landbouw
koelwater	5588	2171	1410	-
ketelvoedingswater	-	108	20	-
proceswater	-	607	18	160
totaal	5588	2886	1448	160

Uit de tabellen 1 en 2 blijkt, dat de elektriciteitscentrales en de chemische industrie in Zuid-Holland (voornamelijk de petrochemische industrie in Rijnmond) een bijzondere positie innemen, enerzijds vanwege het zeer grote verbruik ten opzichte van de overige industrie, anderzijds omdat het water voornamelijk als koelwater wordt gebruikt.

De elektriciteitscentrales gebruiken voor koelwater nagenoeg alleen oppervlaktewater. Het verbruik overtreft in omvang aanmerkelijk alle andere waterverbruikers.

Chemische industrie

De chemische industrie neemt 60% van het totale industriële waterverbruik voor zijn rekening. De petrochemische industrie is een tak van industrie met een grote energiebehoefte. De vrijkomende afvalwarmte wordt afgevoerd met het koelwater. Praktisch al het onttrokken oppervlaktewater (99,5%) wordt voor koeling gebruikt. Van het opgepompte grondwater wordt ca. 80% voor koeling gebruikt. Hiermee behoort de chemische industrie samen met de openbare elektriciteitsbedrijven tot de grootste verbruikers van koelwater (tabel 2).

Bij de fabricage van synthetische garens liggen de verhoudingen duidelijk anders. Hier wordt 50 - 60 % van het totale waterverbruik gebruikt als koelwater en 40 - 50 % als proceswater (grondstof, reinigingsmiddel en spoelwater). Voor ketelvoedingswater wordt ca. 3% gebruikt.

Papierindustrie

In de papierindustrie is 50% van het waterverbruik bestemd voor koeling en 50% voor het produktieproces. Van het koelwater wordt ca. 80% aan het oppervlaktewater onttrokken. De grondwateronttrekkingen vinden in hoofdzaak plaats in de provincies Groningen, Gelderland en Limburg. Interessant is de ontwikkeling van het waterverbruik per ton produkt. Uit een studie van Casey (1960) van het verbruik bij verschillende Amerikaanse papier- en pulpfabrieken blijkt voor het produceren van houtpulp 200 - 300 m³/ton nodig te zijn. Voor de produktie van verschillende papiersoorten is nog eens extra nodig:

krantenpapier	100 m ³ /ton
gebleekt papier	400 m ³ /ton
ongebleekt papier	200 m ³ /ton

Uit de CBS-cijfers over 1967 (CBS, 1969) blijkt het waterverbruik, inclusief koelwater, ca. 180 m³/ton te bedragen. Volgens een mededeling van de Vereniging van Nederlandse Papierfabrikanten is het waterverbruik bij de papierbereiding in Nederland momenteel (1972) gemiddeld 100 m³/ton, inclusief koelwater en 50 m³/ton, exclusief koelwater. Uit bovenstaande blijkt dat er een duidelijke ontwikkeling is naar het beperken van het waterverbruik. In hoofdstuk 6 zal hierop nader worden ingegaan.

Textielindustrie

Van het totale industriële waterverbruik komt ca. 2% voor rekening van de textielindustrie. Ca. 40% van het gebruikswater wordt aangewend als koelwater en ca. 60% voor het produktieproces. De grondwateronttrekkingen vinden in hoofdzaak plaats in de provincies Overijssel, Gelderland en Noord-Brabant. Het waterverbruik in deze tak van industrie kan sterk variëren, afhankelijk van de gebruikte machines, verfstoffen en het te bewerken produkt. Voor het wassen in loog, het bleken en het merceriseren van katoen wordt per 100 kg produkt resp. 2 - 10, 5 - 10 en 25 m³ water verbruikt. Voor het verven van katoen varieert de hoeveelheid water van 3 - 22 m³ per 100 kg produkt.

Voedingsmiddelenindustrie

De voedings- en genotmiddelenindustrie neemt de tweede plaats in voor wat het totale waterverbruik betreft. Het water vervult in deze industrie dan ook een belangrijke functie. Het dient niet alleen voor het transporteren, schoonmaken en conserveren van grondstoffen, maar is vaak zelf één van de hoofdbestanddelen van het gereede produkt (frisdranken, bier, melkprodukten, etc.). Voor de verwerking van groente is ca. 25 m³ water per ton produkt vereist, voor het slachten van klein- en groot vee is per slachting ca. 500 l nodig. In de zuivelindustrie is voor de verwerking van 1 l melk gemiddeld 12 l water nodig. Voor de totale melk-produktie van ruim 8.10⁹ l melk is dus ca. 100.10⁶ m³ water nodig.

De aardappelmeelindustrie verbruikte tot nu toe gedurende de campagne van september - december 20.10⁶ m³ water, waarvan ca. 50% aan het grondwater wordt onttrokken. Met de nieuw ontwikkelde produktieprocedé's kan het verbruik met een factor 10 worden beperkt.

Metaalindustrie

In de metaalindustrie wordt 80% van het water als koelwater gebruikt, de overige 20% niet-koelwater betreft in hoofdzaak water dat verdampt tijdens de verschillende produktieprocedé's, dit water moet worden aangevuld. Het is niet eenvoudig om aan te geven hoe groot het verbruik is per ton produkt omdat de verscheidenheid aan

produkten groot is en het niet altijd duidelijk is, waar een vermeld getal betrekking op heeft. OTTS (1967) neemt $130 \text{ m}^3/\text{ton}$ 'ingot' staal en $9 \text{ m}^3/\text{ton}$ ijzererts. Volgens de CBS-gegevens van 1967 is per ton ruw staal 34 m^3 water nodig.

Landbouw

Wat de landbouw betreft is in de tabellen 1 en 2 alleen aangegeven de hoeveelheid die door mechanische middelen aan grond- of oppervlaktewater wordt onttrokken, terwijl de eenvoudige inlaat van oppervlaktewater daarbij niet is inbegrepen.

Uit de opsomming van het waterverbruik bij de verschillende takken van industrie blijkt het totale verbruik sterk af te hangen van de benodigde hoeveelheid koelwater. Vooral wanneer voor koeling het zgn. doorstroomsysteem ('once-through' systeem) wordt toegepast zijn grote hoeveelheden water nodig. Is in de omgeving voldoende oppervlaktewater beschikbaar, zoals het geval is bij ligging aan een rivier of aan de kust, dan zal dit veelal geen probleem zijn. Moet ten gevolge van de omstandigheden grondwater worden gebruikt, dan kan eerder de noodzaak ontstaan andere koelsystemen toe te passen, waarbij het koelwater recirculeert. Het waterverbruik kan dan aanzienlijk worden verminderd. Een overzicht van het totale waterverbruik in Nederland wordt gegeven in fig. 1 en fig. 2. In deze figuren is het koelwaterverbruik van de elektriciteitscentrales niet opgenomen. Uit fig. 1 blijkt dat de groei van het waterverbruik overwegend is toe te schrijven aan de sterke ontwikkeling van het industrieel gebruik voor koelwater. Deze toename wordt grotendeels gerealiseerd door toename in het gebruik van oppervlaktewater (fig. 2). Vooral de chemische industrie in Zuid-Holland rondom de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas heeft aan deze stijging bijgedragen.

De toename in het gebruik van niet-koelwater, welke voornamelijk wordt gedekt door industriële winning van grondwater en de levering van leidingwater door de openbare bedrijven, is slechts gering. Uit fig. 2 blijkt dat deze toename geheel wordt ingenomen door het toegenomen verbruik van leidingwater, hetgeen in belangrijke mate wordt veroorzaakt door de bevolkingstoename. Geconcludeerd kan worden dat het gebruik van industrieel proceswater en ketelvoedings-

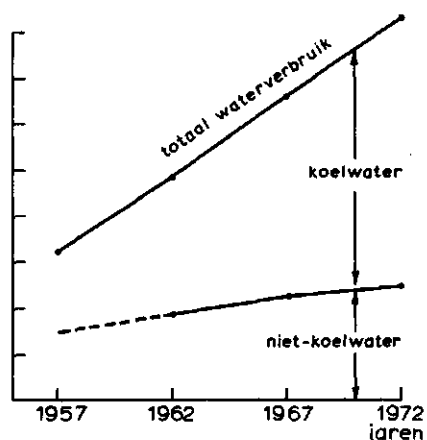


Fig. 1. Ontwikkeling waterverbruik in Nederland tussen 1957 en 1972, incl. het huishoudelijk verbruik (CBS, 1974)
 huish.verbr. '67: 592 milj. m³
 '72: 780 milj. m³

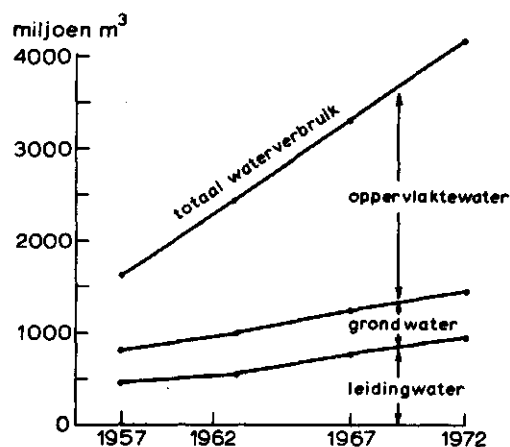


Fig. 2. Ontwikkeling waterverbruik in Nederland tussen 1957 en 1972 verdeeld in opp-, grond- en leidingwater, incl. het huishoudelijk verbruik (CBS, 1974)
 huish.verbr. '67: 592 milj. m³
 '72: 780 milj. m³

water na 1957 praktisch constant gebleven is. Aangezien de productie aanzienlijk is gestegen, moet dus het waterverbruik per ton produkt aanmerkelijk zijn gedaald.

3. KWALITEITSEISEN TEN BEHOEVE VAN DE DRINKWATERVOORZIENING (RIJTEMA, 1974)

Aan de kwaliteit van drinkwater moeten uit een oogpunt van volksgezondheid hoge eisen worden gesteld. De eisen ten aanzien van de chemische verontreiniging zullen echter sterk afhankelijk zijn van tijd en plaats. De beschikbare grondstof is hierbij bepalend omdat de opgeloste anorganische zouten alleen met kostbare zuiveringstechnieken zijn te verwijderen. In Nederland wordt bijvoorbeeld drinkwater verlangd met een chloridegehalte van 150 - 200 mg/l. In talrijke gebieden, met verzilting in de ondergrond, is een dergelijke eis niet haalbaar en moeten concentraties van 400 - 1000 mg/l worden aanvaard. Hetzelfde geldt ten aanzien van andere zouten. De kwaliteitseisen voor drinkwater zoals die zijn vermeld in tabel 3 zijn ontleend aan de European and International Standards van de World Health Organisation.

Verder dient een aantal toxische elementen als arsenicum,

cadmium, hexavalent chroom, cyanide, kwik, lood, seleen en radio-activiteit bij voorkeur afwezig te zijn of is maximaal in uiterst geringe concentraties toelaatbaar.

Tabel 3. Kwaliteitseisen voor drinkwater, W. H. O. 1970/1971
(mg/l, tenzij anders is aangegeven)

Verontreiniging	Bij voorkeur lager dan	Maximaal toelaatbaar
troebelings (mg S_iO_2 /l)	5	25
kleur (mg P_t /l)	5	50
totaal zout	500	1500
totale hardheid (meq/l)	2	10
Ca	75	200
Mg (SO_4^{--} gehalte < 250 mg/l)	150	150
(SO_4^{--} gehalte > 250 mg/l)	30	150
sulfaat	200	400
chloride	200	600
zuurgraad (pH)	7.0-8.5	6.5-9.2
Fe	0.1	1.0
Mn	0.05	0.5
Cu	0.05	1.5
Zn	5.0	15
detergenten	0.2	1.0
minerale olie	0.01	0.30
phenol	0.001	0.002
ammoniak	0.05	-
nitraat	50	100
colibacteriën per 100 cm ³ (aantal)	3	10
E-coli per 100 cm ³ (aantal)	0	1

Bij de bereiding van drinkwater uit oppervlaktewater zullen de meeste verontreinigingen door zuiveringsmaatregelen op betrekkelijk eenvoudige wijze te verwijderen zijn. Een uitzondering moet echter worden gemaakt voor:

- a. kleur, reuk- en smaakstoffen, detergenten, olie, phenolen, e.d.;
- b. sommige anorganische zouten als chloriden en sulfaten;
- c. sommige toxische stoffen.

Ten aanzien van deze aspecten zal het oppervlaktewater reeds moeten voldoen aan de eisen die voor drinkwater worden gesteld.

4. KWALITEITSEISEN TEN BEHOEVE VAN DE INDUSTRIE

De eisen die worden gesteld aan de kwaliteit van het water hangen ten nauwste samen met de doeleinden waarvoor het water wordt gebruikt. In de industrie kan daartoe het waterverbruik naar vier categorieën worden onderscheiden:

- koelwater
- ketelvoedingswater
- sanitair water
- proceswater

De eerste drie categorieën kunnen als geheel worden behandeld, omdat deze niet procesgebonden zijn; er zijn dan ook geen wezenlijke verschillen in de kwaliteitseisen voor verschillende takken van industrie. Sanitair water is een kwantitatief geringe hoeveelheid en zal niet nader worden behandeld. De normen voor de kwaliteit voor industriële processen hangen nauw samen met het geproduceerde produkt, zodat de kwaliteitseisen zeer specifiek kunnen zijn. Hiervoor moeten de verschillende takken van industrie dan ook afzonderlijk worden behandeld.

4.1. Koelwater

De kwaliteit van het koelwater dat door verschillende takken van industrie wordt gebruikt, loopt uiteen van zeewater tot water van hoge kwaliteit (tenminste drinkwater). Deze grote verschillen worden veroorzaakt door de keuze van het koelsysteem en de eisen die aan de kwaliteit van het koelwater worden gesteld in verband met het productieproces. De volgende methoden van koeling komen voor:

1. het doorvoersysteem ('once-through cooling'): het water wordt slechts één keer opgewarmd en vervolgens geloosd;
2. open en gesloten koelsystemen ('recirculation cooling'), waarbij het water na opwarming wordt gekoeld (in koeltorens of op andere wijze) en vervolgens opnieuw gebruikt.

Indien in ruime mate oppervlaktewater aanwezig is zal voornamelijk het doorvoersysteem worden toegepast, aangezien dit verreweg het goedkoopst is. Wanneer ten gevolge van bepaalde omstandigheden grondwater moet worden gebruikt, zullen eerder open en gesloten koelsystemen in aanmerking komen.

De eisen die in het algemeen aan koelwater worden gesteld zijn:

- a. het water moet een voldoende lage en liefst constante temperatuur hebben;
- b. er mogen geen afzettingen in het koelsysteem ontstaan door sedimentatie, door vorming van ketelsteen of door organische groei (slijmvorming);
- c. het water mag niet corrosief zijn.

ad. a. temperatuur

De toevoertemperatuur van het koelwater is zeer belangrijk. Des te lager de toevoertemperatuur, des te meer warmte kan per m³ koelwater worden afgevoerd. Vooral 's zomers, als de temperatuur van het oppervlaktewater hoog is, kan minder warmte per m³ worden afgevoerd en neemt het koelwaterverbruik toe. Bij circulatiekoeling is de temperatuur van het gecirculeerde water meestal hoger dan die van oppervlakte water, namelijk 28 - 35°C. Verder is de toevoertemperatuur belangrijk in verband met de procestemperatuur (BOOY, 1968). Naarmate de procestemperatuur hoger is mag ook de toevoertemperatuur hoger zijn en zijn de normale temperatuurschommelingen van oppervlaktewater (0-25°C) eerder toelaatbaar. Is de procestemperatuur laag, dan zal het oppervlaktewater met een koelinstallatie moeten worden voorgekoeld, of er wordt grondwater voor de koeling gebruikt.

In verband met ontoelaatbare temperatuurschommelingen in het oppervlaktewater is als eis gesteld dat de temperatuur van het opper-

vlaktewater, op een van geval tot geval nader te bepalen afstand van de uitlaat niet hoger dan 30 °C mag zijn (KELLER, 1970).

ad b. afzettingen

Om afzettingen door sedimentatie te voorkomen mag het koelwater geen zwevende en/of drijvende bestanddelen bevatten. Grovere bestanddelen kunnen met vangroosters worden verwijderd. Ketelsteenvorming in doorvoersystemen zal bij gebruik van oppervlaktewater vanwege de betrekkelijk geringe opwarming weinig voorkomen. Wordt grondwater gebruikt voor circuitkoeling, dan zal dit water dikwijls voorbehandeld moeten worden. Ontijzering en voorontharding met kalksoda vindt meestal plaats, soms wordt defosfatering toegepast, daar hoge ortho-fosfaatgehaltenes de vorming van ketelsteen kunnen bevorderen. Totale ontharding is vaak niet gewenst, omdat een dunne afzetting van ketelsteen bescherming kan geven tegen corrosie. Voor gebruik in open of gesloten koelcircuits is normaal leidingwater dikwijls te hard. In de staalindustrie bijvoorbeeld wordt leidingwater gemengd met onthard water.

De groei van algen en bacterieslijm kan worden voorkomen door desinfectie met chloor.

ad c. corrosie

Corrosie moet in het doelsysteem worden vermeden. In het doorvoersysteem zal de corrosieve werking gering zijn, zodat hiervoor zee-water kan worden gebruikt. Zodra in circulatiesystemen wordt gekoeld kan corrosie een gevaar worden. Dikwijls is een pH-correctie nodig en moet de zoutconcentratie relatief laag zijn.

Tengevolge van verdamping (koeltorens) vindt ophoping van zouten plaats, zodat af en toe een hoeveelheid koelwater moet worden gespuid en aangevuld met zoutarm water.

De American Water Works Association geeft de volgende kwaliteitsnormen (tabel 4) voor koelwater bij toepassing in circulatiecircuits (OTTS, 1963).

Tabel 4. Kwaliteitsnormen van koelwater in circulatiecircuits
voorgesteld door de American Water Works Association

	Grenswaarde (mg/l)
zuurgraad (pH)	6,5 - 7,5
hardheid (CaCO ₃)	50
Mangaan (Mn)	0.5
ijzer (Fe)	0.5
ijzer + Mangaan	0.5
troebelheid	50
slijmvorming, org. groei	geen
corrosiviteit	geen
totaal zout	500 - 1200

In de voedings- en genotmiddelenindustrie kan het voorkomen dat leidingen van het koelcircuit aanwezig zijn in ruimten waarin het produkt voorkomt. In dat geval schrijft de Warenwet voor dat het koelwater moet voldoen aan de normen zoals die zijn vastgelegd voor drinkwater. Dit voorschrift is opgesteld met het oog op eventuele calamiteiten, waarbij het koelwater door lekkage in het koelsysteem in contact zou kunnen komen met het produkt.

4.2. Ketelvoedingswater

De benodigde hoeveelheid ketelvoedingswater is, in verhouding tot de drie andere categorieën, relatief gering, doch de eisen die worden gesteld met betrekking tot de kwaliteit, zijn hoog. Naarmate de keteldruk toeneemt worden de eisen nog hoger. In het algemeen is bijvoorbeeld leidingwater dan ook niet geschikt, er is eerst een voorbehandeling nodig. Tengevolge van verliezen in de ketel neemt het gehalte aan verschillende opgeloste stoffen toe, zodat aanvulling (suppletiewater) met zeer zuiver water noodzakelijk is, teneinde aan de kwaliteitsnormen te kunnen blijven voldoen. Het ketelvoedingswater moet helder en kleurloos zijn, ontharding is dikwijls noodzakelijk om ketelsteenvorming te voorkomen. Verder mag het water geen stoffen bevatten die corrosief zijn. Dit geldt ook voor gassen als O₂ en CO₂. Het SiO₂-gehalte moet laag zijn ter voorkoming van ketel-

steenvorming. SiO_2 geeft met opgeloste zouten hard ketelsteen en met Al een neerslag van analciet. Bij voldoende alkaliniteit ($\text{pH} > 8$) blijft silicium in oplossing. Het kan onder bepaalde omstandigheden doelmatig zijn dat het ketelvoedingswater enig fosfaat bevat, waardoor een in het water aanwezige resthardheid als een praktisch onoplosbare gemakkelijk door spuien te verwijderen verbinding wordt afgescheiden. Hoezeer de stoomdruk bij het ketelvoedingswater een rol speelt blijkt uit het overzicht van de grenswaarde voor verschillende stoffen (tabel 5).

Tabel 5. Grenswaarden voor stoffen in ketelvoedingswater in mg/l bij verschillende keteldrukken

	Lage druk (1-25 ato)	Middelhoge druk (25-60 ato)	Hoge druk (> 60 ato)
pH	8 - 10	8,5-9,2	8,8-9,2
SiO_2	5	0,03	0,02
Opgeloste zouten	700	500	200
Fe	2	0,05	0,03
Mn	1	0,03	0,02
Cu	-	0,01	0,005
Olie	2	0,5	0,5
O_2	0,1	0,03	0,02
CO_2	25	20	1
H_2S	2	0	0
Hardheid $^{\circ}\text{D}$	0,1	0,02	0,01
NH_4	1	1	0,1
Org. zuren (COD)	5	0,5	0
Al	0,1	0,01	0,01

Uit tabel 5 blijkt dat ook organische verbindingen als olie en organische zuren ongewenst zijn. Organische zuren dragen bij tot corrosie. Het NH_4 -gehalte moet laag zijn vooral indien in de stoomleidingen veel Cu en Cu-legeringen voorkomen, NH_3 is nl. corrosief voor Cu.

In tabel 6 is een overzicht gegeven van de ongewenste effecten

die door verschillende verontreinigingen worden veroorzaakt. Tevens is vermeld op welke wijze de te hoge concentraties kunnen worden gecorrigeerd.

Tabel 6. Ongewenste effecten van een aantal verontreinigingen in ketelvoedingswater en methoden van voorbehandeling ter correctie van te hoge concentraties (OTTS, 1963)

Verontreiniging	Ongewenst effect	Voorbehandeling	Concentratie mg/liter na voorbehandeling
Koolzuur	corrosie als alkaliteit laag is	aeratie, neutralisatie met alkalizouten	5-10
Zuurstof	corrosie	ontluchting door verhitting afkoeling onder vacuum	< 0,007 0,1-0,3
Gesuspendeerde stoffen	verstoppingen, ongunstige warmte-overdracht	sedimentatie en filtratie, evt. samen met chemische flocculatie	< 5 < 1
Alkaliteit	schuimvorming, geeft CO ₂ in condensaat, verstoort pH-correctie	kation-uitwisseling (H-cyclus)	elk gewenst niveau
Chloride	schuimvorming corrosie	anion-uitwisseling	< 3
Sulfaat	ketelsteenvorming	Ba-behandeling anion-uitwisseling	17-25 0-3
Silicium	ketelsteenvorming $Al_2S_3O_2 \rightarrow$ Analciet	adsorptie aan Fe(OH) ₃ of Mg(OH) ₂ anion-uitwisseling	0,10-0,30
IJzer, mangaan	corrosie, ketelsteenvorming	aeratie gevolgd door filtratie, demineralisatie	0,1-0,3
Calcium	ketelsteenvorming	koude kalksoda hete kalksoda kation-uitwisseling (Na- of H-cyclus)	25-35 12-15 0-5
Magnesium	ketelsteenvorming	als Ca	0-5
Natrium	schuimvorming corrosie	kation-uitwisseling (H-cyclus)	0-5
Ammonium	corrosie van Cu en Cu-legeringen	kalkontharding ionen-uitwisseling	0,01

Naarmate de kwaliteit van het gebruikte ketelvoedingswater beter is, neemt het aantal onderhoudsbeurten af (verwijdering ketelsteen) en zijn de stoomleidingen minder snel aan vervanging toe. Het is dan ook meestal een kwestie van economie hoever de voorbehandeling van het water moet gaan.

4.3. Proceswater

Bij het proceswater wordt de kwaliteit van het proceswater in hoofdzaak bepaald door de specifieke eisen ten aanzien van het produkt. Dit is de reden dat in dit hoofdstuk over proceswater de kwaliteitseisen voor een aantal industrieën afzonderlijk worden besproken.

4.3.1. Chemische industrie

De hoeveelheid water die in de chemische en petro-chemische industrie wordt gebruikt voor de verschillende produktieprocessen is gering in verhouding tot de hoeveelheid koelwater. Het proceswater wordt gebruikt voor wassen en transport van produkten en is dikwijls het medium waarin processen plaatsvinden (chemische reacties, e. a.). Soms is het water een integraal deel van het produkt, in andere gevallen wordt het gebruikt als oplosmiddel voor verontreinigingen. Er wordt in de meeste gevallen grond- en/of leidingwater gebruikt zonder voorbehandeling. Zolang het proces goed verloopt en er geen klachten zijn wordt verder weinig aandacht besteed aan de kwaliteit. Dit is dan ook de reden dat vele fabrikanten weinig kunnen zeggen over de vereiste waterkwaliteit.

In de farmaceutische industrie wordt erg gewaakt voor een slechte reuk en smaak van het proceswater.

Het water moet een laag kleurgetal hebben (< 5 mg Pt/l) en minder dan 10 mg filtreer residu per liter bevatten. De fluoridering van drinkwater is voor de produktie van reuk- en smaakstoffen funest. De fabriek zal dan moeten overgaan op de-fluoridering. Wanneer er twijfels bestaan over de kwaliteit van het water wordt gewoonlijk overgegaan op gedemineraliseerd water of wordt condensaat gebruikt, omdat de extra kosten die hiermee gepaard gaan te verwaarlozen zijn tegenover de totale produktiekosten van een produkt.

4.3.2. Metaalindustrie

Veel van het water wordt gebruikt voor directe koeling (blussing) van hoogoverslakken en staalprodukten in verschillende stadia van het produktieproces. Verder wordt water gebruikt voor het uitwassen

van afvalgassen in gaswassers. De kwaliteitseisen zijn dan ook niet streng: temperatuur $< 25^{\circ}\text{C}$, $\text{Cl} < 175 \text{ mg/l}$, pH tussen 6,8 en 7,0, hardheid $< 50 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$, weinig organische stof en niet corrosief (OTTS, 1967).

4.3.3. Papierindustrie

Naarmate de kwaliteit van het papier hoger wordt, nemen de eisen ten aanzien van de kwaliteit van het proceswater toe. Het water wordt gebruikt voor het ontsluiten van houtslijpsel, voor het wassen van cellulosepulp, voor het transport van pulp, voor gelijkmatige verdeling van de grondstof over de papiermachine en andere processen. De ongewenste effecten van verschillende verontreinigingen in het proceswater worden weergegeven in tabel 7.

Tabel 7. Ongewenste effecten van een aantal verontreinigende stoffen in de papier- en pulpindustrie en methoden van voorbehandeling ter correctie van te hoge concentraties

Verontreiniging	Ongewenst effect op papier	Voorbehandeling
<u>Gesuspenderde stoffen</u> b.v. kleideeltjes, zand, vezeltjes, micro-organismen, e.a.	vermindering helderheid beploeding kleur beploeding sterkte bevordering bacteriegroei	flocculatie, bezinking, filtreren
<u>Kleurstoffen</u> b.v. organische stof Fe-zouten	sterke adsorptie aan papier-vezel veroorzaakt kleuring	flocculaties, filtreren
<u>Smaak- en reukstoffen</u> afbraakprodukten org. stof (b.v. H_2S) chloorphenolen	beploeding verpakkingsmateriaal levensmiddelen	actief kool, beluchting, chloring met chloor-dioxide
<u>Olie</u>	vlekvorming	flotatie door beluchting
<u>Metalen</u> $\text{Al} + \text{OH}^- \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3$ Kolloidaal Fe, Mn	aantasting sterkte adsorptie vezels \rightarrow kleuring	beluchting \rightarrow onoplosbare metaaloxiden daarna zand filtratie
Fe, Mn en Cu $\text{Mn} \rightarrow \text{MnO}_4^-$	katalytisch effect op ontleding bleekmiddelen vorming permanganaat geeft roodkleuring vezels verstopping sproei-ers t.g.v. ketelsteen	
<u>Hardheid</u>		
<u>Vrij Koolzuur (CO_2)</u>	pH-daling \rightarrow CO_2 vorming \rightarrow kleine gaatjes in papier	pH correctie
<u>Temperatuur</u>	grote schommelingen in temperatuur \rightarrow ontvezeling van papier	temperatuur-stabilisatie

Wanneer oppervlaktewater wordt gebruikt, wordt dit algemeen eerst voorbehandeld. Humuszuren (kleurbefvloeding) worden verwijderd door flocculatie en bezinking met aluin en natrium-aluminaat. Na beluchting en zandfiltratie worden Fe en Mn verwijderd. Ook grondwater kan kleurstoffen, metaalionen e. a. bevatten zodat voorbehandeling noodzakelijk is. In tabel 8 worden de kwaliteitseisen, afhankelijk van de papiersoort, weergegeven. De vermelde normen gelden algemeen voor de papierindustrie (CASEY, 1960).

Tabel 8. Grenswaarden voor verschillende stoffen (mg/l, tenzij anders aangegeven) in het proceswater van de papierindustrie, afhankelijk van de kwaliteit van het papier

Verontreiniging	Fijn papier	Geslepen papier	Kraftpapier	
			gebleekt	ongebleekt
Troebeling (als S_1O_2)	10	50	40	100
Kleur (in Pt-eenh.)	5	30	25	100
Totale hardheid ($^{\circ}D$)	6,6	13,2	6,6	13,2
Calcium hardheid ($^{\circ}D$)	3,3	-	-	-
Alkaliteit ($^{\circ}D$)	5	10	5	10
Koper (als Cu)	0,15	0,05	0,05	0,05
IJzer (als Fe)	0,1	0,3	0,2	1,0
Mangaan (als Mn)	0,05	0,1	0,1	0,5
Oplosbare S_1 (als S_1O_2)	20	50	50	100
Oplosbare stoffen	200	500	300	500
Vrij koolzuur (als CO_2)	10	10	10	10
Olie	0	0	0	0
pH	6-10	6-10	6-10	6-10
Mg	12	12	12	12

4.3.4. Textielindustrie

In de textielindustrie wordt water voor verschillende doeleinden gebruikt:

1. het bevochtigen van lucht in de spin- en weefkamers
2. het reinigen, bleken, verven en spoelen
3. koeling en verwarming

Voor het stijven van garen worden de draden door een appreterbad geleid. Natuurlijke vezels worden gereinigd met natuurlijke zeep en detergenten teneinde kleefstoffen, was en olie te verwijderen voordat de vezel wordt gebleekt en geverfd. Voor het **reinigen** van katoen en wol zijn grote hoeveelheden water nodig waaraan strenge eisen met betrekking tot de kwaliteit worden gesteld. Katoen reinigen wordt gedaan bij 80 - 120 °C en een pH 12, wolreinigen bij 45 - 65 °C en pH 7 tot 10. Het bleken van textiel wordt òf met chloor òf met waterstofperoxide gedaan. Het chloorbleken (met hypochloriet (NaClO)) vindt plaats bij pH 9; met waterstofperoxide (H₂O₂) is een pH vereist van 2,5 tot 3. Het verven van katoen wordt bij een hoge pH uitgevoerd, terwijl wolverven bij betrekkelijk lage pH plaatsvindt. De vereiste pH voor het verven van synthetische vezels is afhankelijk van het chemische karakter van de garens. In tabel 9 wordt een overzicht gegeven van de kwaliteitseisen van het water voor verschillende processen in de textielindustrie.

Tabel 9. Kwaliteitseisen (mg/l) van proceswater voor verschillende produktieprocessen in de textielindustrie (N C W Q, 1968)

Verontreiniging	Appreteren	Katoen, wol, synthetisch		
		reinigen	bleken	verven
Fe	0,3	0,1	0,1	0,1
Mn	0,05	0,01	0,01	0,01
Cu	0,05	0,01	0,01	0,01
zwevende stof	5	5	5	5
hardheid (Ca+Mg)	1,5 ^o D	1,5 ^o D	1,5 ^o D	1,5 ^o D
pH-katoen	6,5-10	9,0-10,5	2,5-10,5*	7,5-10,0
pH-synthetisch	6,5-10	3,0-10,5	n.v.t.	6,5-7,5
pH-wol	6,5-10	3,0-5,0	2,5-5,0	3,5-6,0
Kleur (mg Pt/l)	5	5	5	5

* afhankelijk van de toegepaste bleektechniek

Uit tabel 9 blijkt dat het water zacht moet zijn. Hoge hardheden veroorzaken grote problemen. Bij processen die een hoge pH vereisen moet neerslagvorming van Ca- en Mg-hydroxide in het weefsel

worden voorkomen. Sommige verfstoffen geven met Ca- en Mg-ionen slecht oplosbare componenten, die het verfproces onmogelijk maken wegens verstopping van de verfapparatuur. Ca- en Mg-neerslagen kunnen verder de wrijftechtheid van het textiel beïnvloeden. Fe en Mn geven zwarte en bruine verkleuringen bij concentraties hoger dan 0,1 mg/l. Fe-concentraties, groter dan 1 mg/l geven vergeling van het gebleekte produkt en mogelijk ten gevolge van katalytische processen bij het waterstofperoxide bleken, reacties met afbraakprodukten van cellulose. Het gevolg is dat de trekvastheid van de vezel vermindert. Fe kan verder katoen meer bros maken bij concentraties groter dan 1 mg/l. Cu kan interfereren met verschillende verfstoffen en verschillende oxydaties katalyseren. Zwevende stof en kolloidaal materiaal zijn ongewenst, vooral indien onder druk wordt geverfd. Deze stoffen kunnen zich dan als een filter gedragen en de verf adsorberen. Chloride en fosfaat moet bij de produktie van hygiënische artikelen als verband en watten geheel afwezig zijn.

Bij gebruik van grondwater als proceswater zal veelal voorbehandeling noodzakelijk zijn. Ontharding met ionenwisselaars is dikwijls gewenst, verwijdering van Fe- en Mg-ionen door oxidatie en zandfiltratie en uitvlokking met vlokmiddelen van gesuspendeerde en/of kolloidale deeltjes. Wordt oppervlaktewater gebruikt dan is het tevens belangrijk met chloorbleekloog het water te desinfecteren ter vermindering van bacteriegroei en voor het doden van algen.

4.3.5. Voedings- en genotmiddelenindustrie

In de voedingsmiddelenindustrie is water nodig voor de meest uiteenlopende doeleinden. Een aantal voorbeelden geven hiervan een indruk.

1. in het levensmiddel : frisdranken, ijs, soep, blikgroente
2. contact met levensmiddel: wassen grondstoffen, transporteren
grondstoffen, weken, blancheren
3. medium waarin processen:brouwerij, azijnbereiding
plaatsvinden
4. verhitting, koeling en : conserveren, spoelen
reinigen

Water dat op enigerlij wijze aan de fabricage van voedingsmid-

delen te pas komt moet zowel in microbiologisch als in chemisch opzicht tenminste voldoen aan de eisen die aan drinkwater worden gesteld. De warenwet schrijft dit voor, volgens artikel 1 g van het algemeen besluit:

' de bereiding, de verpakking of de behandeling van eet- of drinkwaren mag uitsluitend geschieden in ruimten, welke zich bevinden in percelen, waarin als middel van watervoorziening uitsluitend aanwezig is een aansluiting aan de centrale drinkwaterleiding, waarin in alle ruimten waarin de bereiding, verpakking of behandeling van eet- en drinkwaren plaatsvindt, water kan worden onttrokken'.

Voor bedrijven met eigen waterwinning geldt artikel 2b onder aa van het genoemde besluit:

' De directeur van de keuringsdienst voor waren kan toestemming verlenen dat in plaats van bovengenoemde middelen van watervoorziening een ander middel van watervoorziening aanwezig is dat deugdelijk water in voldoende hoeveelheid oplevert. Voorzover betreft de bacteriologische beoordeling, wordt water slechts deugdelijk geacht, indien het voldoet aan de eisen, gesteld in Normaalblad N 1028 betreffende bacteriologisch-hygiënische keuring van water'.

In de meeste gevallen moet het proceswater dus aan de normen van drinkwater voldoen. Soms worden er bijzondere eisen gesteld die afhankelijk zijn van de produkten en processen in de fabriek. Hiervoor is het noodzakelijk een aantal takken van de voedingsmiddelenindustrie apart te bekijken. In tabel 10 zijn de kwaliteitseisen van het proceswater voor de verschillende industrieën samengevat (HART, 1974).

Bierbrouwerij

In deze tak van industrie wordt het water voor twee doeleinden gebruikt:

a. wassen, pasteuriseren, koelen en flessen spoelen.

Het water moet zacht zijn, bacteriologisch veilig en een laag mineraalgehalte hebben. De totale hardheid mag maximaal 50 mg $\text{CaCO}_3/1$ zijn ter voorkoming van CaCO_3 -afzettingen op de flesjes;

b. in het produkt

De aanwezigheid van voldoende Ca-ionen (tot 200 mg Ca²⁺/l) is belangrijk. Ca vormt met fosfaten uit de mout verbindingen die de pH doen dalen. Ca en Mg geven onoplosbare verbindingen met sommige eiwitten uit het beslag, ook deze reacties verlagen de pH. De enzymen die verantwoordelijk zijn voor de splitsing van zetmeel en eiwit tijdens het gistingsproces, hebben een pH-optimum van 4-6, zodat Ca belangrijk bijdraagt in het bereiken van een gunstige pH. Oxalaten kunnen het bier vertroebelen, Ca vormt met oxalaat onoplosbare verbindingen die neerslaan en afgefiltreerd kunnen worden.

CO₃²⁻-ionen verhogen de pH, hetgeen tot gevolg heeft dat de gisting minder goed verloopt. Er kan dan een toename plaatsvinden van niet afgebroken N-houdende verbindingen die kolloidaal zijn opgelost. De kleur van het bier wordt donkerder bij hogere pH's, als gevolg van minder volledige gistingsreacties. NO₃⁻-gehaltes groter dan 40 mg/l kunnen toxisch zijn, wanneer NO₂⁻ wordt gevormd. Nitriet remt verschillende enzymreacties. Deze remming wordt nog versterkt indien het Cl⁻-gehalte tot 300 mg/l oploopt. Een Cu-gehalte groter dan 10 mg/l is toxisch voor gist. Vrij chloor boven 0,5 mg/l geeft een ongunstige smaak aan het bier. Hoge gehalten aan Ni (>0,1 mg/l) kunnen vreemde verschijnselen veroorzaken tijdens het tappen (spatten). In verband met de smaak moeten eventueel aanwezige phenolen worden verwijderd, dit kan met pvpp (poly vinyl pyrrolidon) of met koolfilters.

Teneinde in de bierbrouwerij over goed proceswater te beschikken wordt dikwijls Ca toegevoegd in de vorm van gips, dit proces wordt burtoniseren genoemd. In extreme gevallen wordt het water gedemineeraliseerd en vindt vervolgens kunstmatige toevoeging plaats van alle gewenste ionen.

Zuivelindustrie

Overeenkomstig de toepassing van water bij de bierbrouwerij, wordt in de zuivelindustrie het water gebruikt voor reiniging van apparatuur, medium voor processen en als bestanddeel van het eindprodukt. Het proceswater moet tenminste voldoen aan de drinkwater

normen (tabel 10). Smaak- en reukstoffen dienen afwezig te zijn. Fe, Mn en Cu kunnen verschillende chemische reacties katalyseren met als gevolg dat het water een slechte smaak krijgt en dus in kwaliteit achteruitgaat. Een te hoog gehalte aan vrij chloor ($> 0,3$ mg/l) beïnvloedt de smaak van melkprodukten als boter en kaas. Chloorphenolen moeten volledig worden verwijderd. NO_3^- kan, bij te hoge gehalten als gevolg van nitrietvorming, schadelijk zijn voor de gezondheid. Vooral bij kindervoeding moet het nitraatgehalte laag zijn i. v. m. de ziekte methaemoglobinemia.

Tabel 10. Waterkwaliteitseisen (hoogste grenswaarde) in de voedingsmiddelenindustrie (mg/l, tenzij anders is aangegeven)

Verontreiniging	Bierbrouwerij		Zuivelindustrie	Inblikken en diepvriezen levensmiddelen	Frisdranken
	licht bier	donker bier			
pH	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-8,0	6,5-8,5	5-10
kleur (mg Pt/l)	0-10	0-10	0	5	1-2
troebelheid	0-10	0-10		1-10	0
smaak en geur(drempelwaarde)	0-laag	0-laag	0	0-laag	0-laag
calcium (Ca)	100-200	200-250		100	
magnesium (Mg)	30	30			
ijzer (Fe)	0,1-1,0	0,1-1,0	0,1	0,2	0,1
mangaan (Mn)	0,1*	0,1*	0,1*	0,2*	0,05*
koper (Cu)	0,1		0		0,1
carbonaat (CO_3)	50-68	50-68			5
sulfaat (SO_4)			60	250	250
chloride (Cl)	60-100	60-100	30	250	250
nitraat (NO_3)	10-30	10-30	30	10	
fluoride (F)	1,0	1,0		1,0	1,0
silicaat (SiO_2)	50	50		50	200-250
hardheid (CaCO_3)		250	180	250	200-250
alkaliteit (CaCO_3)	75-80	80-150		250	50-70
zwavelwaterstof (H_2S)	0,2	0,2	0,2		0-0,2

* totaal Fe en Mn

Conservenindustrie

Een belangrijk deel van het water wordt gebruikt voor het wassen van groente, fruit en andere produkten, voor het bereiden, koelen, afwerken en als hoofdbestanddeel van het produkt. De kwaliteitseisen (tabel 10) moeten tenminste voldoen aan de normen voor drinkwater. Stoffen die smaak en reuk veroorzaken, troebeling geven, afzettingen vormen, taaiheid veroorzaken, kwaliteit en vitaminenge-

halte verlagen, e. a. moeten worden vermeden. Te hoge hardheid (Ca en Mg) veroorzaakt taaiheid (reactie van Ca en Mg met pectine) tijdens het blancheren van peulvruchten (bonen, erwten) en afzettin- gen op bietwortel. Zacht water moet echter worden vermeden daar de groente dan kan verslappen. Een totale hardheid van 85-170 mg CaCO_3 /l wordt genoemd als een optimum. Tomaten geven de voor- keur aan vrij hard water omdat vorming van Ca-pectaat de vrucht steviger maakt. In de loop van het seizoen kunnen de eisen ten aan- zien van waterkwaliteit veranderen. Erwten zijn aan het begin van de campagne meestal zacht en vragen om een behandeling met rela- tief hard water; de harde groenten aan het eind van de campagne kunnen beter in zacht water worden geblancheerd. Te hoge Fe-gehal- tes kunnen verkleuringen geven als gevolg van ongewenste reacties met taurinen (looistoffen bij appelmoes, tuinbonen, e. a.).

Het koelwater voor blik en glas moet vrij zacht zijn. Hard water veroorzaakt een fijne neerslag op de verpakkingen, die zich slechts door afvegen laat verwijderen. IJzer verbindingen in het koelwater kunnen neerslaan op blikverpakkingen en aanleiding geven tot roest- vorming, de kwaliteit van het produkt wordt hierdoor niet beïnvloed doch het is uit esthetisch oogpunt niet verantwoord in verband met export.

Frisdrankindustrie

De kwaliteitseisen die worden gesteld voor de conservenindustrie gelden tevens voor de frisdrankproduktie (tabel 10). Van belang is de alkaliteit van het proceswater, deze mag niet te hoog worden (tot 70 mg CaCO_3 /l), omdat de meeste frisdranken een zekere zuur- graad verlangen in verband met de houdbaarheid. In verband met or- ganoleptische eigenschappen is een constante alkaliteit zeer gewenst. Het Fe-gehalte moet lager zijn dan 0,1 mg Fe/l. Fe kan een gekleur- de ring van ferri-hydroxide in de fles geven. Bovendien kan ijzer een ongunstige invloed hebben op de smaak.

5. KWALITEITSEISEN TEN BEHOEVE VAN DE LANDBOUW

Het totale gebruik van water in de Nederlandse landbouw (dat tevens vrijwel geheel verbruikt is) bedraagt meer dan 10 miljard m³ per jaar en overtreft daarmee elk ander gebruik. Het meeste hiervan komt beschikbaar als regenwater dat korte of langere tijd in de grond geborgen wordt. Daarom beperken we ons hier tot de 160 x 10⁶ m³ per jaar (1970) die worden opgepompt uit grond- of oppervlaktewater.

Doorslaggevend voor de kwaliteitseis van dit water is de vraag of het als enige watervoorzieningsbron voor de gewassen dient, zoals in kassen het geval is, dan wel slechts dient als aanvulling op de door regen en grond geleverde watervoorraad, zoals bij cultures in de open lucht het geval is.

Tijdens het groeiproces wordt water aan de grond onttrokken, van de in de bodemoplossing voorkomende zouten wordt slechts een beperkte hoeveelheid opgenomen. In kassen vindt dus een langzame zoutophoping plaats die de groei kan afremmen.

Over dit proces is veel nauwkeurig onderzoek verricht, waaruit de volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- Er bestaan weliswaar duidelijke verschillen in zoutgevoeligheid van verschillende gewassen die in Nederland onder glas worden geteeld, maar deze variatie leidt maar tot kleine toelaatbare verschillen in zoutgehalte van het gebruikte beregeningswater.
- De gevoeligheid voor zout betreft soms meer het totaal zoutgehalte, soms meer het Cl-ion.
- Uit economische overwegingen moet het Cl-gehalte van het gebruikte water niet hoger zijn dan 150 à 200 mg Cl/liter, wat onder Nederlandse omstandigheden inhoudt dat het totaal aan opgeloste zouten niet hoger mag zijn dan 500 à 600 mg/liter.

In de open lucht treedt bij gebruik van beregeningswater verlaaging van de zoutconcentratie in de grond op door de natuurlijke neerslag. De eisen zijn bij vollegrondsteelt dan ook duidelijk lager, terwijl ook meer uiteenlopende waarden worden verkregen als gevolg van de grotere verschillen in zoutgevoeligheid van de gewassen. Voor

de meest gevoelige gewassen is de grenswaarde ca. 300 mg/liter, vooral op vaak beregende zandgronden, terwijl voor de minder gevoelige gewassen wel 1000 mg/liter kan worden aangehouden.

Voor metaalionen die in te hoge concentratie het groeiproces storen, gelden in beregeningswater de volgende grenswaarden:

B en As	: 0,3 mg/liter
Co	: 0,2 mg/liter
Ni	: 0,5 mg/liter
Zn	: 2,0 mg/liter
F	: 0,5 - 1,0 mg/liter

Een bijzondere positie neemt het ijzer in. Niet direct het groei-proces maar de kwaliteit van produkten kan lijden onder te hoge ferro-gehalten in het water (HIDDING, 1972). In de fruitteelt mag het Fe-gehalte in beregeningswater niet hoger zijn dan 1,5 à 2,0 mg Fe/liter in verband met vruchtverruwing. Bij glasteelten wordt een grens van 5 mg/liter aangehouden, aangezien hogere gehalten bruinverkleuring van het blad (sla) of bladverbranding veroorzaken. Om hinderlijke vlekken, vooral op bladeren van bloemen te voorkomen moet de hardheid lager zijn dan 5 °D.

Hoewel de hoeveelheid drinkwater van het vee een relatief gering gebruik voorstelt, wordt het zeer diffuus onttrokken aan oppervlakte- en grondwater. De aan dit water te stellen eisen liggen vooral op het gebied van de N- en S-verbindingen. Goed water moet, als het voedsel NO₃-rijk is, minder dan 30 mg NO₃/liter en minder dan 0,5 mg NO₂/liter bevatten, terwijl H₂S afwezig moet zijn. De grens voor Fe is 5 mg/liter, die voor Cl 1200 mg/liter.

6. ONTWIKKELINGEN VAN HET WATERVERBRUIK IN DE INDUSTRIE

Twee factoren hebben ertoe geleid dat de industrie zich is gaan bezinnen op de mogelijkheden van beperking van het waterverbruik.

1. De kosten van behandelingstechnieken om het gebruikswater op de vereiste kwaliteit te brengen zijn aanzienlijk gestegen, enerzijds omdat de behandelingsapparatuur duurder is geworden, anderzijds

omdat de kwaliteit van het gebruikswater (met name het oppervlaktewater) is verslechterd, zodat voorbehandeling vaker noodzakelijk wordt.

2. De Wet Verontreiniging Oppervlaktewater betekent hoge kosten voor het lozen van het afvalwater. Het proceswater wordt immers uiteindelijk als afvalwater geloosd. Zolang de industrie zelf niet zuivert, kan op de aanslag alleen worden bezuinigd, door het debiet van het afvalwater te beperken (bij een vermindering van bijvoorbeeld 50% op het volume, wordt de aanslag met 25% verlaagd). Het afvalwater is dan meer geconcentreerd, maar een geringer volume veroorzaakt minder last bij de zuivering.

Voor de verlaging van het waterverbruik staan twee wegen open:

1. Tegengaan van verspilling, met andere woorden, zuiniger zijn met water door niet meer te gebruiken dan nodig is. Hiertoe behoeven nauwelijks ingrijpende maatregelen te worden genomen. Het is veelal een zaak van contrôle en discipline in de fabriek. In de papierindustrie is door bezuinigingen het totale waterverbruik per ton produkt in de laatste 10 jaar gehalveerd.
2. Wijzigingen in het procédé.

Terwijl het eerste punt met weinig kosten gepaard gaat, houdt het tweede in dat belangrijke investeringen moeten worden gedaan. Vooral punt 2 biedt mogelijkheden het waterverbruik belangrijk terug te schroeven. Een aantal voorbeelden maken dit duidelijk.

- a. In de aardappelmeelindustrie werd tot voor kort het zetmeel uitgewassen met 8 m^3 water per ton aardappelen. Momenteel kan het uitwassen plaatsvinden volgens het tegenstroomprincipe in hiervoor geschikte apparatuur. De proceswaterbehoefte wordt hiermee teruggebracht tot $0,5-0,8 \text{ m}^3$ per ton aardappelen.
- b. In de textielindustrie vindt waterbesparing plaats door wijzigingen in de spoelprocédé's (van doorstroomprincipe naar overschakelen op tegenstroom). Het waterverbruik kan hiermee tot eenderde van het oorspronkelijke worden teruggebracht.
- c. In de papierindustrie is het waterverbruik tenminste gehalveerd ($60 \text{ à } 70 \text{ m}^3/\text{ton}$ naar $30 \text{ à } 35 \text{ m}^3/\text{ton}$) door enerzijds scherpere contrôle op het verbruik en anderzijds hergebruik van het afvalwater na filtratie en andere behandelmethoden.

Een belangrijke besparing kan worden bereikt op het gebruik van koelwater. Bij de toenemende schaarste aan grond- en oppervlaktewater voor koeling doet zich meer en meer de noodzaak voor het koelwaterverbruik te beperken. Momenteel vindt overwegend door stroomkoeling plaats, doch in de toekomst zal hergebruik door recirculatie steeds meer plaatsvinden. Het opgewarmde koelwater wordt door middel van koeltorens afgekoeld aan de buitenlucht. Hoeveel het waterverbruik hiermee kan worden teruggebracht wordt weergegeven in tabel 11.

Tabel 11. Waterverbruik bij verschillende koelsystemen in de olieraffinaarderijen

Koelsysteem	Waterverbruik per ton ruwe olie
'once-through' koeling	15 m ³
natte koeltoren	0,5 m ³
droge koeltoren	0,01 m ³

Bij een droge koeltoren wordt de te koelen vloeistof door leidingen met koelribben geleid, zodat een directe koeling aan de lucht plaatsvindt. Bij dit systeem is het waterverbruik praktisch nihil. In West-Duitsland is de industrie vooral in de jaren na 1960 overgegaan op het gebruik van zowel natte als droge koeltorens. Het waterverbruik is daardoor in de petrochemische industrie gedaald van 20,4 tot 5,6 m³/ton ruwe olie (STECK, 1968).

Ook bij doorstroomkoeling kan het koelwaterverbruik worden beperkt door een juiste serieschakeling (BOOY, 1968). Afhankelijk van het produktieproces blijkt het mogelijk te zijn op deze wijze een waterbesparing tot 25% te bereiken. Uiteraard is serieschakeling alleen mogelijk indien er relatief grote verschillen zijn in de temperatuur van de te koelen produkten.

Uit bovenstaande wordt het duidelijk dat hergebruik van het proceswater al of niet na behandeling, een veel voorkomende methode is van sanering in het waterverbruik. Het water wordt op deze manier meerdere malen gebruikt, alvorens het wordt geloosd. Het werkelijke waterverbruik van de fabriek kan hierdoor belangrijk lager zijn dan de waterbehoefte.

7. SLOTBESCHOUWING

De grootste waterverbruikers in Nederland zijn de elektriciteitscentrales en de chemische (met name de petro-chemische industrie in Rijnmond). Het betreft hier vooral de grote hoeveelheden die voor koeling worden gebruikt. De kwaliteitseisen van dit koelwater zijn afhankelijk van het toegepaste koelsysteem en variëren van zeewater tot drinkwater. De hoeveelheid water die voor het opwekken van stoom onder hoge druk nodig is, is relatief laag, terwijl de kwaliteitseisen daarentegen bijzonder hoog zijn. Voor zeer hoge stoomdrukken is praktisch gedemineraliseerd water nodig.

Voor vele industriële processen is water nodig dat tenminste de kwaliteit heeft van drinkwater en dikwijls is, afhankelijk van het produkt, een hogere kwaliteit vereist.

Bij het opstellen van prognoses omtrent het totaal waterverbruik in Nederland dient terdege rekening te worden gehouden met de ontwikkeling van het industrieel waterverbruik. Zowel door de toenemende schaarste aan grondwater en oppervlaktewater van goede kwaliteit als door de hoge heffingen die moeten worden betaald voor het lo en van grote hoeveelheden afvalwater, is de industrie de laatste jaren scherp gaan letten op het waterverbruik.

Bij verschillende industrieën is door een interne optimalisatie het waterverbruik met 10 à 50% verminderd. Door over te gaan op andere koeltechnieken is het mogelijk om in industrieën die zeer veel koelwater verbruiken, het koelwaterverbruik met een factor 10 à 20 terug te brengen. Ook de omschakeling op andere processtechnieken (uitwassen in tegenstroom, hergebruik) kan een belangrijke besparing van het verbruik van proceswater geven.

Dergelijke ontwikkelingen hebben er toe bijgedragen dat, ondanks een stijging in de industriële produktie, het verbruik van industrieel proceswater in de jaren 1962-1967 nauwelijks is toegenomen. Het is waarschijnlijk, dat ook de jaren 1967-1972 geen of zeer weinig stijging van het proceswaterverbruik te zien geven. Wel is in deze jaren nog een belangrijke toename van het koelwaterverbruik geconstateerd. Dit wordt mede veroorzaakt door het in ruime mate beschik-

baar zijn van oppervlaktewater, dat althans voor gebruik als koelwater, meestal van voldoende kwaliteit is. Verwacht mag worden dat spoedig strengere voorschriften ten aanzien van de lozing van afvalwater zullen worden opgesteld, terwijl ook het gebruik van grondwater meer aan banden zal worden gelegd. Deze maatregelen zullen er toe leiden dat in de toekomst door overschakeling op andere koelsystemen (doorstroomkoeling naar recirculatiekoeling) het koelwaterverbruik belangrijk zal dalen.

In de prognoses omtrent het waterverbruik in Nederland is tot nu toe met deze ontwikkelingen te weinig rekening gehouden. Er mag dan ook worden verwacht, dat de huidige prognoses van het industrieel waterverbruik in 1980 en 2000 te hoog zijn.

Een ander aspect dat de aandacht verdient, is de zogenaamde externe optimalisatie. Voor verschillende processen is water vereist van hoge kwaliteit, vooral het ketelvoedingswater moet aan hoge eisen voldoen. Voor de kleinere industrieën is voorbehandeling van het water, zeker als het gaat om onthardings- en demineralisatie-technieken, een dure aangelegenheid, die goedkoper in grotere eenheden zou kunnen plaatsvinden. Centralisatie van winning en voorbehandeling van het water zou in dergelijke gevallen mogelijk een goede en goedkopere oplossing betekenen. Samenwerking tussen de industrieën onderling verdient dan ook speciale aandacht. Overigens kan een centrale voorbehandeling ook worden overgelaten aan de overheidsinstanties, die tevens belast zijn met de distributie van drinkwater.

In hoeverre het water voor een bepaald proces zal worden voorbehandeld is meestal een kwestie van economie. Enerzijds is de voorbehandeling kostbaar, anderzijds neemt bijvoorbeeld het aantal onderhoudsbeurten van een ketel met bijbehorende stoomleidingen toe als water van mindere kwaliteit wordt gebruikt. Ook bij de toepassing van waterbesparingstechnieken zullen de kosten dienen te worden afgewogen tegenover de baten.

8. LITERATUUR

- BOOY, C.G., 1968. Winstverhoging door beperking van afvalwarmtelozing. De Ingenieur 80, nr. 51 (Koelwaternummer): A 749-A 758.
- CASEY, J.P., 1960. Pulp and paper. Chemistry and chemical technology, Vol. 2, 2nd ed. (Chapter 9).
- CENTRAAL BUREAU VOOR DE STATISTIEK, 1969. De watervoorziening van Nederland en van de industrie in het bijzonder; 1967. Uit: Maandstatistiek van de industrie, aug. 1969.
- CENTRAAL BUREAU VOOR DE STATISTIEK, 1974. De watervoorziening van Nederland en van de industrie in het bijzonder; 1972. Uit: Maandstatistiek van de industrie, september 1974.
- HART, B.T., 1974. A compilation of australian water quality criteria. Research project no. 71/36. Australian Government publishing service, Canberra 1974.
- HIDDING, A.P., 1972. Welke eisen stelt de tuinbouw aan de kwaliteit en kwantiteit van het water?. Bedrijfsontwikkeling 3 (nr. 7): 725-727.
- KELLER, K.J., 1970. Lozing van koelwater in de toekomst. H₂O (3), nr. 21: 533-537.
- N.C.W.Q., 1968. Report of the National Technical Advisory Committee on Water Quality Criteria, Federal Water Pollution Control Administration. US Department of the Interior, Washington.
- OTTS, Jr., L.E., 1963. Water requirements of the petroleum refining industry. Geol. Survey Water supply paper 1330-G, US Government Printing Off., Washington.
- OTTS Jr, L.E. and F.B. WALLING, 1967. Water requirements of the iron and steel industry. Geol. Survey Water supply paper 1330-H. US Government Printing Off., Washington.
- RIJTEMA, P.E., 1974. Waterkwaliteitseisen. Stichting Postakademiale Vorming Gezondheidstechniek. Cursus Wateraspecten van het milieurecht 1973-1974.

